



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE METEOROLOGIA

ANGELO RODRIGO BRITO RIBEIRO

**ANÁLISE HARMÔNICA APLICADA A DADOS MENSAIS DE CHUVA PARA O
MUNICÍPIO DE BELÉM**

Belém – PA

2019

ANGELO RODRIGO BRITO RIBEIRO

**ANÁLISE HARMÔNICA APLICADA A DADOS MENSAIS DE CHUVA PARA O
MUNICÍPIO DE BELÉM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Meteorologia do Instituto de geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Souza Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza

Belém – PA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

-
- R484a Ribeiro, Angelo Rodrigo Brito
 Análise harmônica aplicada a dados mensais de chuva para o
 município de Belém / Angelo Rodrigo Brito Ribeiro. — 2019.
 41 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Francisco de Souza Oliveira
 Coorientador(a): Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza
 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de
 Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará,
 Belém, 2019.
1. Precipitação-PA. 2. Série de Fourier. 3. Modelagem. 4.
 Região Amazônica. I. Título.

CDD 551.57728115

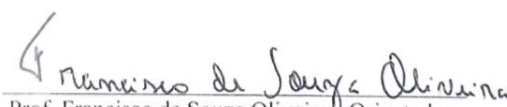
ANGELO RODRIGO BRITO RIBEIRO

**ANÁLISE HARMÔNICA APLICADA A DADOS MENSAIS DE CHUVA PARA O
MUNICÍPIO DE BELÉM**

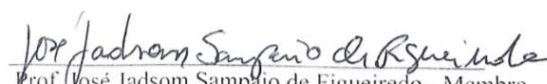
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências
da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de Bacharel em
Meteorologia.

Data de Aprovação: 18/12/2019

Banca Examinadora:


Prof. Francisco de Souza Oliveira Orientador
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará


Prof. Paulo Afonso Fischer Kuhn - Membro
Doutor em Agronomia
Universidade Federal do Pará


Prof. José Jadsom Sampaio de Figueiredo - Membro
Doutor em Engenharia de Petróleo
Universidade Federal do Pará

*À minha família, que sempre
me apoiou em todos os momentos,
para que todos os meus sonhos se
tornassem possíveis, **dedico.***

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a meus pais, Orivaldo Vieira Ribeiro e Maria Margarida de Brito Ribeiro, por toda força recebida, toda determinação e foco que tive nesta graduação, essenciais para a conclusão deste curso.

Ao meu irmão Albert Cristian Brito Ribeiro por ter dado todo o suporte e auxílio financeiro necessário para que eu me mantivesse na cidade com boas condições para estudar sem preocupações.

A minha família, que sempre acreditou em mim e esteve presente para me ajudar (da forma que fosse), foi imprescindível para a minha formação acadêmica e profissional.

Ao Prof. Dr. Francisco de Souza Oliveira, que me disponibilizou este tema incrível e desafiador, além de ter me orientado e incentivado de maneira única, a toda a sua paciência e profissionalismo. Devo muito a você, jamais esquecerei tudo o que foi me ensinado nesse período e levarei para toda a minha vida.

Ao Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza, que se disponibilizou em ajudar e ensinar a trabalhar com a ferramenta OPENGRADS, apresentou o banco de dados CHIRPS e auxiliou no tratamento desses dados, muito obrigado.

Ao centro acadêmico de meteorologia, que possui um espaço maravilhoso, um computador disponível e espaço para debates e estudo, onde as discussões sobre este assunto junto com os meus colegas de classe se desenvolveram e ajudaram neste trabalho.

Ao laboratório ATMOS, localizado na Faculdade de meteorologia, supervisionado pelo professor Dr. Paulo Afonso Fischer Kuhn, onde pude trabalhar não só o TCC, como tantos outros trabalhos da faculdade e de congressos de meteorologia e climatologia.

Ao Laboratório de Sinótica (LABSIN) no qual pude trabalhar meu TCC em vários momentos da minha reta final da graduação.

Ao Laboratório de Estudos e Modelagem Hidro Ambientais (LEMHA), por todo suporte que foi me dado.

Agradeço aos meus colegas de classe, em especial ao Henrique Souza, Gabriel Catete, Marcelo Cunha, Mateus Rebelo, Pedro Oliveira e Richard Lobato que sempre foram um suporte de todas as maneiras desde o primeiro dia de aula.

A todos os meus professores da faculdade de Meteorologia, pelos ensinamentos, companheirismo, pelos conselhos, pontos de vistas diferentes e tudo que aprendi foi devido a cada um deles.

Por último, porém não menos importante que os outros, à minha namorada Stefanie Paixão que me ajudou na finalização do meu TCC batendo cabeça junto comigo na formatação da ABNT.

RESUMO

Este trabalho descreve uma pesquisa sobre o comportamento do acumulado de chuva na cidade de Belém-PA e uma maneira de modelar os dados discretos observados em uma equação a partir da Série de Fourier, considerando o grande problema que é mostrado na modelagem climática onde apenas dados discretos de precipitação são aferidos para utilizar na previsão do tempo. Partindo da hipótese que o regime de chuvas na região amazônica é bem definido em período chuvoso e menos chuvoso, deu-se ênfase em verificar se os métodos utilizados para modelar os dados meteorológicos em uma equação e em seguida um gráfico representativo do comportamento da precipitação ao decorrer do ano, como foi obtido em outras regiões do País. O trabalho procura mostrar a necessidade de modelos meteorológicos para a previsão das condições climáticas na região, utilizando dados de precipitação desde 1987 até 2016, com o intuito de ajudar a população regional das mudanças que estão ocorrendo.

Palavras-chave: Precipitação-PA. Série de Fourier. Modelagem. Região Amazônica.

ABSTRACT

This paper describes a research on the behavior of rainfall accumulated in the city of Belém-PA and a way to model the discrete data observed in an equation from the Fourier Series, considering the major problem that is shown in climate modeling where only data discrete precipitation is measured for use in weather forecasting. Assuming that the rainfall regime in the Amazon region is well defined in the rainy and less rainy periods, emphasis was given to verifying whether the methods used to model the meteorological data in an equation and then a representative graph of precipitation behavior over throughout the year, as was obtained in other regions of the country. The paper seeks to show the need for meteorological models to forecast the climatic conditions in the region, using rainfall data from 1987 to 2016, in order to help the regional population change that are occurring.

Keyword: Precipitation-PA. Fourier Series. Modeling. Amazon Region.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa do Brasil localizando o estado do Pará com a localização do município de Belém em destaque.....	20
Figura 2- Gráfico de precipitação média mensal no município de Mossoró-RN no período de 1917-1985.	24
Figura 3- Gráfico da variação anual da chuva média mensal em Mossoró-RN e as harmônicas anual, semestral, quadrimestral e síntese.	27
Figura 4- Gráfico de precipitação média mensal no município de Belém-PA no período de 1970 a 2016.	28
Figura 5- Gráfico da variação anual da chuva média mensal em Belém-PA e as harmônicas anual, semestral, quadrimestral e síntese.	30
Figura 6- Normal Climatológica de 1987 a 2016 da cidade de Belém gerada no OpenGrADS a partir dos dados CHIRPS para os meses de janeiro e fevereiro.....	31
Figura 7- Normal Climatológica de 1987 a 2016 da cidade de Belém gerada no OpenGrADS a partir dos dados CHIRPS para os meses de março e abril.....	32
Figura 8- Normal Climatológica de 1987 a 2016 da cidade de Belém gerada no OpenGrADS a partir dos dados CHIRPS para os meses maio e junho.	33
Figura 9- Normal Climatológica de 1987 a 2016 da cidade de Belém gerada no OpenGrADS a partir dos dados CHIRPS para os meses de julho e agosto.	34
Figura 10- Normal Climatológica de 1987 a 2016 da cidade de Belém gerada no OpenGrADS a partir dos dados CHIRPS para os meses de setembro e outubro.....	35
Figura 11- Normal Climatológica de 1987 a 2016 da cidade de Belém gerada no OpenGrADS a partir dos dados CHIRPS para os meses de novembro e dezembro.	36
Figura 12- Gráfico comparativo entre o valor observado de precipitação para a cidade de Belém-PA para o ano de 2017, previsão feita pela série de Fourier e Climatologia gerada através do CHIRPS.....	37
Figura 13- Script no OpenGrADS para a plotagem do mês de novembro da média mensal da precipitação em Belém.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores dos Parâmetros Pk , Qk , ak , Ak , $Vark$ e $Varkac$ resultantes das médias mensais e anual da cidade de Mossoró-RN no período de 1917-1985. (continua)....	25
Tabela 2 Valores médios mensais observados e estimados junto com os valores das harmônicas anual, semestral, quadrimestral e Síntese da precipitação em Mossoró-RN.	26
Tabela 3- Valores dos Parâmetros Pk , Qk , ak , Ak , $Vark$ e $Varkac$ resultantes das médias mensais e anual da cidade de Belém-PA no período de 1970-2016.	28
Tabela 4- Valores médios mensais observados e estimados junto com os valores das harmônicas anual, semestral, quadrimestral e Síntese da precipitação em Belém-PA.	29

LISTA DE ACRÔNIMOS

ABR – Abril;

AGO – Agosto;

ARCTAN – Arco tangente;

BDMEP – Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa;

CCD – Cold cloud duration;

CHIRPS – Climate hazards group infrared precipitation with stations;

COS – Cosseno;

DEZ – Dezembro;

DNF – Duração de nuvem fria;

FEV – Fevereiro;

FORTTRAN - IBM mathematical formula translation system;

GrADS - Grid analysis and display system's;

INMET – Instituto nacional de meteorologia;

JAN – Janeiro;

JUL – Julho;

JUN – Junho;

Km – Quilômetro;

Km² - Quilômetro quadrado;

m – Metro;

MAI – Maio;

MAR – Março;

mm – Milímetro;

NOV – Novembro;

OMM – Organização meteorológica mundial;

OpenGrADS - Project open grid analysis and display system's;

OUT – Outubro;

PA – Pará;

PNG – Portable network graphics;

RN – Rio Grande do Norte

SEN – Seno;

SET – Setembro;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVO	15
2.1	Objetivo geral.....	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	REVISÃO TEÓRICA.....	16
3.1	Sobre o INMET.....	16
3.2	Sobre o Excel	16
3.3	Sobre série de Fourier	17
3.4	Sobre o Scilab.....	17
3.5	Sobre modelagem via satélite.....	18
3.6	Sobre o OpenGrADS.....	18
3.7	Sobre o CHIRPS.....	19
3.8	Sobre o Word.....	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1	Área de Estudo	20
4.2	Climatologia de Belém	21
4.3	Dados Meteorológicos Utilizados.....	21
4.4	Metodologia	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
5.1	Experimento 1	24
5.2	Experimento 2	27
6	CONCLUSÃO.....	38
	REFERÊNCIAS.....	39
	APÊNDICE A.....	41

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, assim como em todo o mundo, a previsão do tempo é de suma importância para o desenvolvimento da região, como exemplo na agricultura, na geração de energia em usinas hidrelétricas, que dependem do volume de água assim como em outros setores que os eventos de precipitação pluviométrica podem ser benéficos ou atrapalhar. Segundo Marengo (2014), nos últimos 30 anos tem aumentado a frequência de chuvas fortes no verão e no inverno do Sul e do Sudeste assim como nesse período, ocorreram as grandes secas históricas experimentadas pela Amazônia em 2005 e 2010 e, na mesma região, as enchentes de 2009, 2012 e 2014. No Nordeste, uma seca em 2012 que já entrou em 2015 e, no Sudeste, temos a grande seca de 2014-15, a pior dos últimos 80 anos, vem afetando a segurança hídrica e energética de São Paulo e Rio de Janeiro e gerando restrições de água para a população da região metropolitana de São Paulo.

Mudanças nos ecossistemas amazônicos podem provocar impactos na circulação atmosférica, no transporte de umidade para e da região e, consequentemente, no ciclo hidrológico, não somente sobre a América do Sul, mas em outras partes do mundo. A precipitação média anual na bacia amazônica é de aproximadamente 2300 mm, apresentando regiões com precipitação superior a 3000 mm no oeste, noroeste e litoral norte da Amazônia. O regime de precipitação na Amazônia é modulado por sistemas dinâmicos de microescala, mesoescala e escala sinótica. Dentre os sistemas de escala sinótica atuantes nessa modulação, destacam-se as zonas de convergência associadas às circulações térmicas diretas (circulações de HADLEY; WALKER), também conhecidas como Zona de Convergência Intertropical (ver COELHO *et. al.* 2004) e os aglomerados convectivos que constituem a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ver NOBRE *et. al.* 2002). Como sistemas de mesoescala (e escala sub-sinótica) de maior influência, podem-se citar os conglomerados de nuvens Cumulonimbus associados às linhas de instabilidades (ver OLIVEIRA *et. al.* 2016) originadas pela circulação de brisa marítima na costa do Atlântico. A convecção local, devida ao aquecimento diurno da superfície, também contribui com a formação de nuvens de verão e uma parcela significativa das chuvas anuais. Esses sistemas convectivos conduzem a uma intensa variabilidade espacial e temporal no ciclo hidrológico na Amazônia (CORREIA *et al.* 2007).

Com isso a agricultura no norte do país é severamente afetada pois é uma atividade que está diretamente relacionada e é dependente de condições específicas para a obtenção de uma melhor quantidade e qualidade de produtos produzidos por essa atividade. Para contornar essa

situação a necessidade de análise do tempo e do clima na região se faz necessária para averiguar e, se possível, amenizar os desastres causados por essas mudanças.

Os dados de precipitação aferidos pelos meteorologistas, técnicos em meteorologia e dispositivos são de natureza discreta, sendo valores observados durante intervalos de tempo específicos podendo ser de minutos, horas ou dias, o que dificulta os prognósticos necessários para a previsão do tempo de uma maneira prática. Então Jean B. Fourier (1768-1830) no livro “Théorie Analytique de la Chaleur”, escrito em 1822, introduziu o conceito conhecido atualmente como Série de Fourier, que é muito utilizado nas ciências em geral, principalmente por conseguir adaptar uma série de dados discretas e periódicas em uma série de somas de senos e cossenos que representem de maneira aceitável o comportamento destes dados.

Para medição de precipitação, se expressa à quantidade de chuva pela altura de água precipitada e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. Para determinação dessa quantidade de chuva, são utilizados aparelhos denominados pluviômetros ou pluviógrafos, que realizam medidas periódicas, que variam de minutos a horas. As grandezas características para medições de precipitação são: altura pluviométrica, intensidade de precipitação e duração (MELO, 2014).

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Modelar uma série temporal de precipitação da cidade de Belém no período de 1980 a 2016 visando fazer uma previsão para o ano de 2017 utilizando séries de Fourier.

2.2 Objetivos específicos

- Calcular os coeficientes a partir da base de dados discreta de precipitação da Cidade de Belém-PA;
- Verificar se a metodologia é válida para a Cidade em questão;
- Modular a partir desta técnica uma previsão para o ano de 2017;
- Comparar com o dado observado da estação convencional do INMET situado nesta cidade;
- Gerar uma normal climatológica através do banco de dados CHIRPS para comparar com os dados modelados pela série e medidos pela estação.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 Sobre o INMET.

O Instituto Nacional de Meteorologia – INMET nasceu como um setor do Observatório Nacional do Rio de Janeiro, a Diretoria de Meteorologia e Astronomia, e passou por inúmeras transformações (OLIVEIRA, 2009).

A missão do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, é prover informações meteorológicas à sociedade brasileira e influir construtivamente no processo de tomada de decisão, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do País. Esta missão é alcançada por meio de monitoramento, análise e previsão de tempo e de clima, que se fundamentam em pesquisa aplicada, trabalho em parceria e, compartilhamento do conhecimento, com ênfase em resultados práticos e confiáveis (INMET, 2019).

Hoje o INMET contabiliza algumas grandes realizações sonhadas por seus idealizadores, como a rede de estações meteorológicas espalhadas por todo o País, a integração com os serviços internacionais, e o uso de tecnologias de ponta, como as que se aplicam à modelagem numérica do tempo e à climatologia. Poucas instituições governamentais brasileiras, sobretudo as dedicadas a estudos teóricos e aplicados, já atingiram a marca dos 100 anos (OLIVEIRA, 2009).

O Sistema de Coleta e Distribuição de Dados Meteorológicos do Instituto (temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, precipitação, entre outras variáveis) é dotado de estações de sondagem de ar superior (radiossonda); estações meteorológicas de superfície, operadas manualmente; e a maior rede de estações automáticas da América do Sul (INMET, 2019).

3.2 Sobre o Excel

O Microsoft Excel, versão 16.0.11328.20492, é uma poderosa folha de cálculo que dispõe de inúmeras ferramentas para tratamento, simulação, análise, partilha e proteção de dados (PINTO, 2011).

As fórmulas de cálculo e as funções predefinidas ajudam a trabalhar e manipular os dados da folha de cálculo. Sempre que os dados são alterados na folha de cálculo, o Excel recalcula automaticamente os resultados em função das fórmulas definidas.

Com o Microsoft Excel 2010 é mais fácil criar gráficos e, sobretudo, editá-los. As galerias de estilos e de esquemas de gráficos, para além da galeria de tipos de gráficos já existentes em versões anteriores do Excel, ajudam a formatar um gráfico apenas com alguns cliques.

3.3 Sobre série de Fourier

Jean B. Fourier (1768-1830) foi pioneiro na investigação destes problemas. No livro “Théorie Analytique de la Chaleur”, escrito em 1822, ele introduziu o conceito conhecido atualmente como Série de Fourier, que é muito utilizado nas ciências em geral, principalmente nas áreas envolvidas com: Matemática, Engenharia, Computação, Música, Ondulatória, Sinais Digitais, Processamento de Imagens, etc. Uma série de Fourier, é a representação de uma função periódica como uma soma de funções periódicas simples, particularmente, cosseno e seno. (TUBELIS, 1980)

3.4 Sobre o Scilab.

O Scilab, versão 6.0.2, é um poderoso ambiente de programação interativa que facilita muito a tarefa de computação numérica e análise de dados. Ele é totalmente dotado de uma poderosa linguagem de programação cuja sintaxe é fácil de usar e reúne os elementos de uma linguagem de programação de alto nível. Os elementos incluem atribuição, operadores, funções, condicionais e loops. Quando o Scilab é executado, é exibido um prompt do usuário na interface gráfica do usuário. O prompt é o intérprete do Scilab esperando o usuário digitar um comando, que é imediatamente avaliado. Uma linguagem de programação interpretada para análise de dados é muito mais poderosa do que uma que requer a construção de pré-requisitos completos seguidos de compilação antes que os dados comecem a ser manipulados. (GOMEZ, 1999).

3.5 Sobre modelagem via satélite

Recursos como produtos de sensores orbitais, algoritmos interpoladores e modelos atmosféricos são cada vez mais necessários para a representação da precipitação em áreas onde não se dispõe da observação da precipitação, se tornando uma opção para estudos climáticos para regiões tropicais e subtropicais, como as ocupadas pelo território brasileiro (SMITH et al., 2012; BAYISSA et al., 2017 apud COSTA, 2019).

3.6 Sobre o OpenGrADS.

O projeto OpenGrADS, versão 2.2.1.oqa.1, busca desenvolver interfaces e extensões avançadas baseadas no mecanismo principal do Grid Analysis and Display System (GrADS) que é uma ferramenta de desktop interativa usada para fácil acesso, manipulação e visualização de dados de ciências da terra. O GrADS possui dois modelos de dados para manipular dados em grade e estação. O GrADS suporta muitos formatos de arquivo de dados, incluindo binários (fluxo ou sequencial), GRIB (versão 1 e 2), NetCDF, HDF (versões 4 e 5) e BUFR (para dados da estação). O GrADS foi implementado em todo o mundo em uma variedade de sistemas operacionais comumente usados e é distribuído gratuitamente pela Internet.

O GrADS usa um ambiente de dados em 5 dimensões: as quatro dimensões convencionais (longitude, latitude, nível vertical e tempo) mais uma quinta dimensão opcional para grades que geralmente é implementada, mas projetada para ser usada em conjuntos. Os conjuntos de dados são colocados no espaço 5-D usando um arquivo descritor de dados. O GrADS lida com grades regulares, com espaçamento não linear, gaussiano ou de resolução variável. Dados de diferentes conjuntos de dados podem ser sobrepostos graficamente, com registro espacial e de tempo correto. É fornecido um rico conjunto de funções internas, mas os usuários também podem adicionar suas próprias funções como rotinas externas escritas em qualquer linguagem de programação.

Os dados podem ser exibidos usando uma variedade de técnicas gráficas: gráficos de linhas e barras, gráficos de dispersão, contornos suavizados, contornos sombreados, linhas de fluxo, vetores de vento, caixas de grade, caixas de grade sombreadas e gráficos de modelo de estação. Os gráficos podem ser impressos em formatos PostScript ou de imagem. O

GrADS fornece padrões geofisicamente intuitivos, mas o usuário tem a opção de controlar todos os aspectos da saída gráfica.

O GrADS possui uma interface programável (linguagem de script) que permite aplicações sofisticadas de análise e exibição. Use scripts para exibir botões e menus suspensos, além de gráficos e, em seguida, execute uma ação com base nos cliques e apontamentos do usuário. O GrADS pode ser executado no modo em lote, e a linguagem de script facilita o uso do GrADS para realizar longos trabalhos em lote durante a noite. (TSAI, 1998)

3.7 Sobre o CHIRPS.

Para a interpolação de dados de satélites para a geração de uma climatologia estimativa foi utilizado os dados do Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS) que se baseia em abordagens anteriores às técnicas de interpolação "inteligentes" e alta resolução, longo período de dados de estimativas de precipitação com base em observações infravermelhas de duração da nuvem fria (DNF). O algoritmo é construído em torno de uma climatologia de $0,05^\circ$, que incorpora informações de satélite para representar locais escassamente medidos, incorpora estimativas de precipitação diárias, pentadais e mensais desde 1981 até os dias atuais com $0,05^\circ$ de CCD, ele combina os dados das estações para produzir um produto de informação com uma latência de cerca de 2 dias e um produto final com uma latência média de cerca de 3 semanas e usa um novo procedimento de mistura incorporando a estrutura de correlação espacial das estimativas CCD para atribuir pesos de interpolação. (FUNK et al. 2015)

3.8 Sobre o Word

O Microsoft, versão 16.0.11328.20492, é uma ferramenta que permite você transformar suas ideias em texto e coloque esse texto no papel com layouts variados, trabalhando com tabelas, bordas e sombreamento, parágrafos e corretor ortográfico, além de fornecer diversas ferramentas de formatação para tornar a sua redação brilhante. Com ele, é possível criar páginas e títulos mais dinâmicos com o uso de brilho, reflexos e sombras, além de personalizar imagens e comunicar projetos visualmente com o uso de SmartArt. (NAJET, 2018)

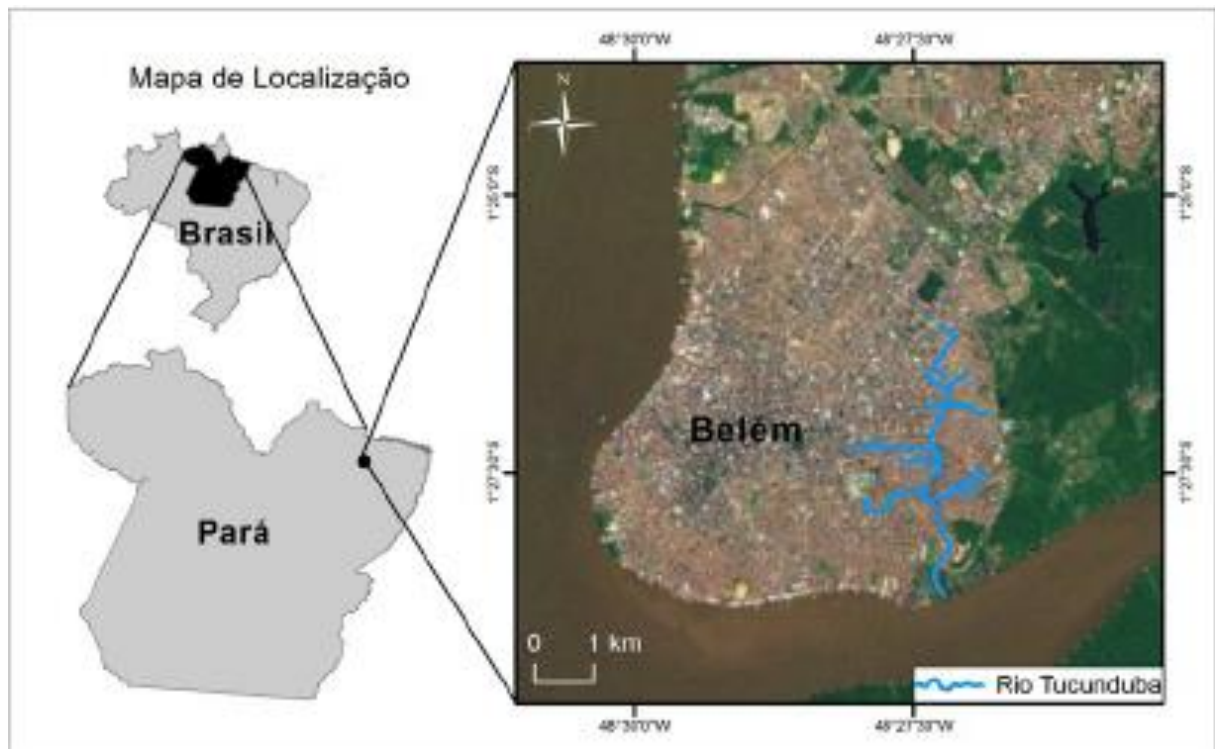
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O município de Belém ($01^{\circ} 27' 21''$ S e $48^{\circ} 30' 16''$ W), ver Figura 1, capital do estado do Pará, pertencente a Mesorregião Metropolitana de Belém e à Microrregião de Belém, localiza-se no norte brasileiro. O clima em Belém é quente e úmido, tipicamente equatorial, sofre influência direta da floresta amazônica, onde as chuvas são constantes (VIANELLO; ALVES, 1991).

A região está localizada às margens da Baía do Guajará, na confluência com o Rio Guamá à aproximadamente 120 km do Oceano Atlântico, apresentando uma área de 719 km^2 , com altitude média de 12 m. Sua principal característica fisiográfica, além da baixa altitude, é de apresentar inúmeros pequenos corpos de água, conhecidos regionalmente como furos e igarapés, os quais associados à baixa latitude condicionam à região, um ambiente climático quente e úmido (BASTOS et al. 2002).

Figura 1- Mapa do Brasil localizando o estado do Pará com a localização do município de Belém em destaque.



Fonte: IBGE (2012 *apud* PEGADO et. al. 2014).

4.2 Climatologia de Belém

Na capital do estado o regime de chuvas é constante onde são considerados duas estações do ano o período chuvoso e o período menos chuvoso. A precipitação pluviométrica é fundamental para os seres vivos e de suma importância para a agricultura, pois ela, junto com a radiação solar, é a variável que determina e influencia em todos os estágios do plantio desde a preparação do solo que irá ser plantado até o volume necessário de irrigação e pode atrapalhar na colheita dos produtos, no transporte e nas vendas deles.

4.3 Dados Meteorológicos Utilizados

O Banco de dados meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do INMET abriga dados meteorológicos diários em forma digital, de séries históricas das várias estações meteorológicas convencionais da rede de estações do INMET com milhões de informações, referentes às medições diárias, de acordo com as normas técnicas internacionais da Organização Meteorológica Mundial (OMN). No BDMEP estão acessíveis os dados diários a partir de 1961 das estações para as quais se disponha, em forma digital, de pelo menos 80% dos dados que foram registrados naquele período. Os dados históricos referentes a períodos anteriores a 1961 ainda não estão em forma digital e, portanto, estão indisponíveis no BDMEP. As variáveis atmosféricas disponibilizadas para consultas no BDMEP são: precipitação ocorrida nas últimas 24 horas; temperatura do bulbo seco; temperatura do bulbo úmido; temperatura máxima; temperatura mínima; umidade relativa do ar; pressão atmosférica ao nível da estação; insolação; direção e velocidade do vento. (INMET, 2019).

4.4 Metodologia

A partir das séries temporais, os dados foram modelados em uma equação que melhor descreva o seu comportamento através da série de Fourier pois (TUBELIS e NASCIMENTO, 1980) para uma série de N valores ($Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$), igualmente espaçados a intervalos Δ_t no período $T = N\Delta_t$, são válidas as seguintes expressões:

$$Y_t = P_0 + \sum_1^k [P_k \cos(\frac{2\pi kt}{T}) + Q_k \sin(\frac{2\pi kt}{T})] \quad (01)$$

Com $k = 1, 2, 3, \dots, N/2$ se N é par e $k = 1, 2, 3, \dots, (N - 1)/2$ se N é ímpar.

$$P_k = \frac{2}{N} \sum_{t=0}^{N-1} [Y_t \cos(\frac{2\pi kt}{T})] \quad (02)$$

$$Q_k = \frac{2}{N} \sum_{t=0}^{N-1} [Y_t \sin(\frac{2\pi kt}{T})] \quad (03)$$

+

$$a_k^2 = P_k^2 + Q_k^2 \quad (04)$$

$$A_k = \arctan(\frac{P_k}{Q_k}) \quad (05)$$

$$Var_k = \frac{a_k^2}{2S^2} \quad (06)$$

Onde Y_t é o valor estimado pelo modelo, P_0 é a média total dos valores observados, P_k e Q_k são os coeficientes ortogonais das ondas senoidais, o a_k é a amplitude da onda, A_k é o ângulo de fase, T é o período da onda (ex: anual, semestral, quadrimestral), t é o mês do ano, a Var_k é a variância harmônica e S^2 é a variância padrão observada.

Para o cálculo considerou-se o período de tempo mensal como unidade, então a ferramenta utilizada para este fim foi o programa Microsoft Excel, versão 16.0.11328.20492, do pacote office do Windows, onde nele foram introduzidos os dados de precipitação obtidos através do banco de dados do INMET (BDMEP) onde, a partir dele, calculou-se a normal climatológica que, segundo a OMN, são médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos, e as variáveis descritas acima. Nela também foram feitas as tabelas apresentadas nesta pesquisa. A programação da equação para obtenção dos gráficos resultantes das equações obtidas no Excel foi feita no programa Scilab, onde o script utilizava as médias calculadas no programa e aplicava a série de Fourier para todos os intervalos necessários e pré-definidos.

Para a modelagem via satélite foi utilizado o programa OpenGrADS para gerar as imagens de climatologia de Belém-PA trabalhada no banco de dados CHIRPS, este que é o banco de dados mais atual e com a maior resolução pois este abrange uma grade de $0,05^\circ \times$

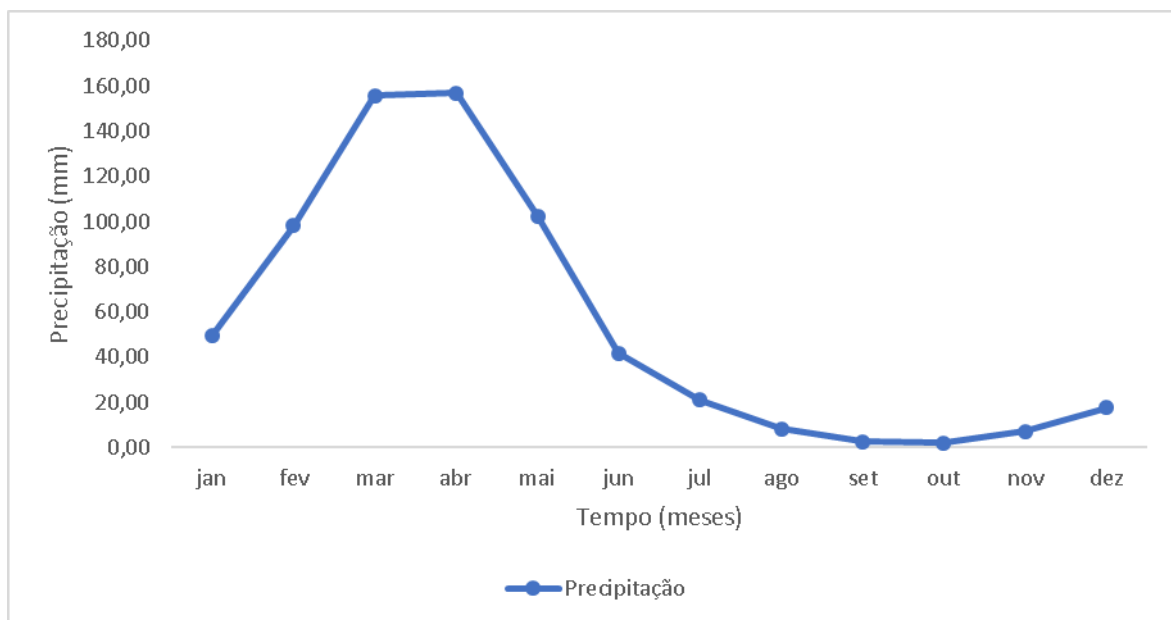
0,05°. O script utilizado está printado no Apêndice deste documento onde nele é dito para a máquina fazer os seguintes passos: calcular o mês definido, num intervalo de 30 anos, começando de 1987 até o ano de 2016, abrir o arquivo onde os dados CHIRPS estão salvos na máquina, fazer o recorte para a região de Belém, esta que tem latitude 1,25°S à 1,50°S e longitude 48,35°W à 45,55°W, colocar a grade negra para melhor visualização da imagem gerada, colocar um sombreamento de cores no recorte para diferenciar os diferentes volumes de precipitação calculado, colocar a legenda das cores e os seus valores num intervalo de 10 em 10 e por fim gerar a imagem no formato PNG.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Experimento 1

O primeiro experimento realizado foi na cidade de Mossoró-RN com o intuito de reproduzir o estudo feito por Dantas Neto (2009) para obter-se uma condição de referência para o experimento 2 que será feito na cidade de Belém. Os primeiros dados trabalhados foram organizados em planilhas na plataforma Excel para a obtenção das médias mensais e anual da precipitação pluviométrica local que, a partir deles, obteve-se a figura 2.

Figura 2- Gráfico de precipitação média mensal no município de Mossoró-RN no período de 1917-1985.



Fonte: Autor.

A figura 2 mostra o comportamento mensal do acumulado de chuva no município de Mossoró-RN, onde o máximo médio de precipitação acumulada observada foi de 463,64mm para o mês de abril e o mínimo teve um valor de 121,71mm no mês de outubro, onde a região demonstra ter um período chuvoso iniciando em janeiro, tendo seu ápice entre os meses de março e abril e finalizando em junho, mês esse que inicia o período de estiagem com seu valor mínimo sendo observado entre os meses de setembro a outubro e tendo fim ao ciclo em janeiro. Utilizando as médias calculadas, buscou-se transformá-la num modelo com a série de Fourier. Para isso, foi calculado e montada a tabela dos resultados para os parâmetros contidos na tabela 1.

Tabela 1- Valores dos Parâmetros P_k , Q_k , a_k , A_k , Var_k e Var_{kac} resultantes das médias mensais e anual da cidade de Mossoró-RN no período de 1917-1985. (continua)

k	1	2	3	4	5	6
P_k	19,925	-25,301	-7,088	3,284	0,148	2,462
Q_k	76,090	16,156	-7,910	-1,292	-0,045	
a_k	78,656	30,019	10,621	3,529	0,155	2,462
A_k	0,256	-1,003	0,731	-1,196	-1,275	
Var_k	0,857	0,125	0,016	0,002	0,000	0,001
Var_{kac}	0,857	0,982	0,998	1,000	1,000	1,000

Fonte: Autor.

A tabela 1 foi montada a partir das equações 2, 3, 4, 5 e 6 e ela nos mostra os parâmetros necessários para montar todas as harmônicas que melhor representam o comportamento da precipitação na localidade. A primeira harmônica, ou a onda anual de período T, tem a forma:

$$Y_t = 58,841 + 19,925 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + 76,090 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (07)$$

explicando 85,7% da variação total e com um erro relativo de 14,3%.

A segunda harmônica, ou a onda semestral, de período T/2 tem a forma:

$$Y_t = 58,841 - 25,301 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + 16,156 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (08)$$

explicando 12,5% da variação total e com um erro relativo de 87,5%.

A terceira harmônica, ou onda quadrimestral, de período T/4 tem a forma:

$$Y_t = 58,841 - 7,088 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) - 7,910 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (09)$$

explicando 1,6% da variação total e com um erro relativo de 98,4%.

Como essas equações podem ser somadas sem problemas, verifica-se uma onda que explica 99,8% da variação total da precipitação no decorrer do ano com um erro absoluto de 0,2%. A partir dessas equações montou-se a tabela 2 que mostra os valores observados junto com os valores obtidos a partir das equações 7, 8 e 9:

Tabela 2 Valores médios mensais observados e estimados junto com os valores das harmônicas anual, semestral, quadrimestral e Síntese da precipitação em Mossoró-RN.

Mês	Observado(mm)	Anual(mm)	Semestral(mm)	Quadrimestral(mm)	Síntese(mm)
Jan	49,34	78,77	33,54	51,75	46,38
Fev	98,23	114,14	60,18	50,93	107,57
Mar	155,76	134,70	85,48	65,93	168,43
Abr	156,84	134,93	84,14	66,75	168,14
Mai	102,54	114,77	57,50	51,75	106,35
Jun	41,84	79,63	32,20	50,93	45,08
Jul	20,94	38,92	33,54	65,93	20,70
Ago	8,17	3,54	60,18	66,75	12,79
Set	2,73	-17,02	85,48	51,75	2,54
Out	1,91	-17,25	84,14	50,93	0,14
Nov	7,12	2,91	57,50	65,93	8,65
Dez	17,72	38,05	32,20	66,75	19,32

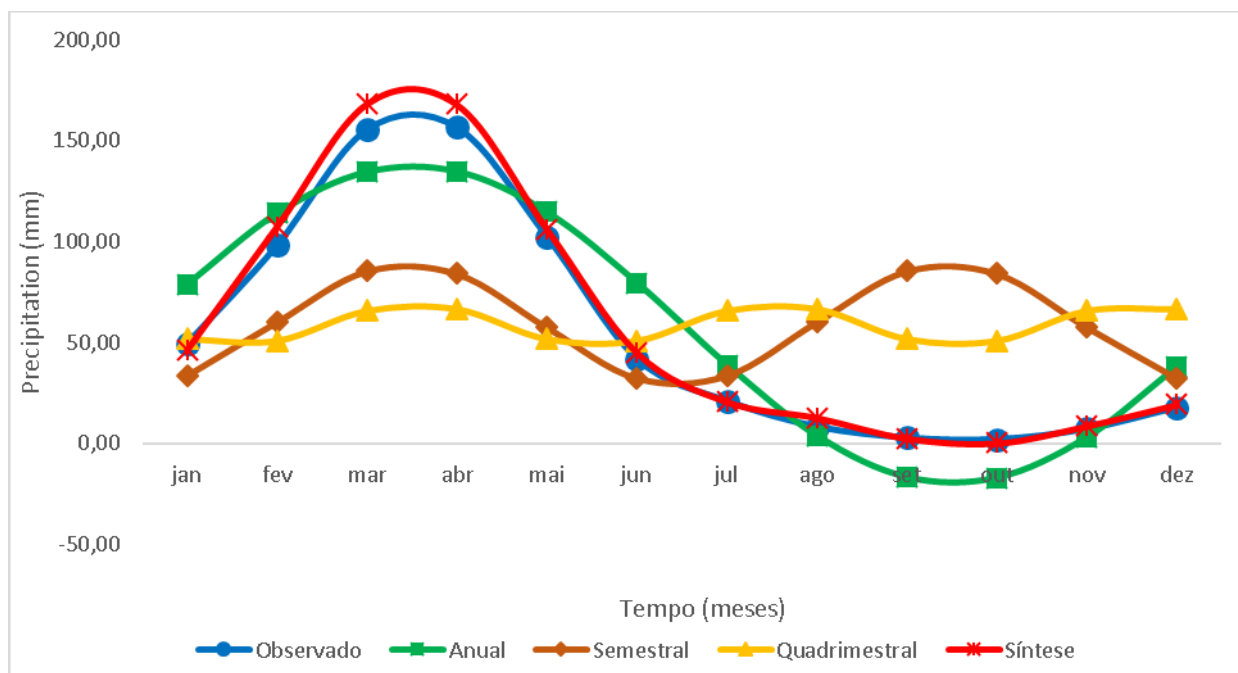
Fonte: Autor

Com os valores da tabela 2, foi gerada a figura 3 que representa graficamente os resultados observados e gerados a partir da equação 1 que modela a variação calculada pelos parâmetros P_k e Q_k com a forma:

$$Y_t = 58,841 + 19,925 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + 76,090 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) - 25,301 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + 16,156 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) - 7,088 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) - 7,910 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (10)$$

A equação 10 foi programada no software Scilab e o resultado obtido foi nomeado como a curva síntese e esta foi plotada na figura 3 junto com os dados observados, anual, semestral e quadrimestral:

Figura 3- Gráfico da variação anual da chuva média mensal em Mossoró-RN e as harmônicas anual, semestral, quadrimestral e síntese.



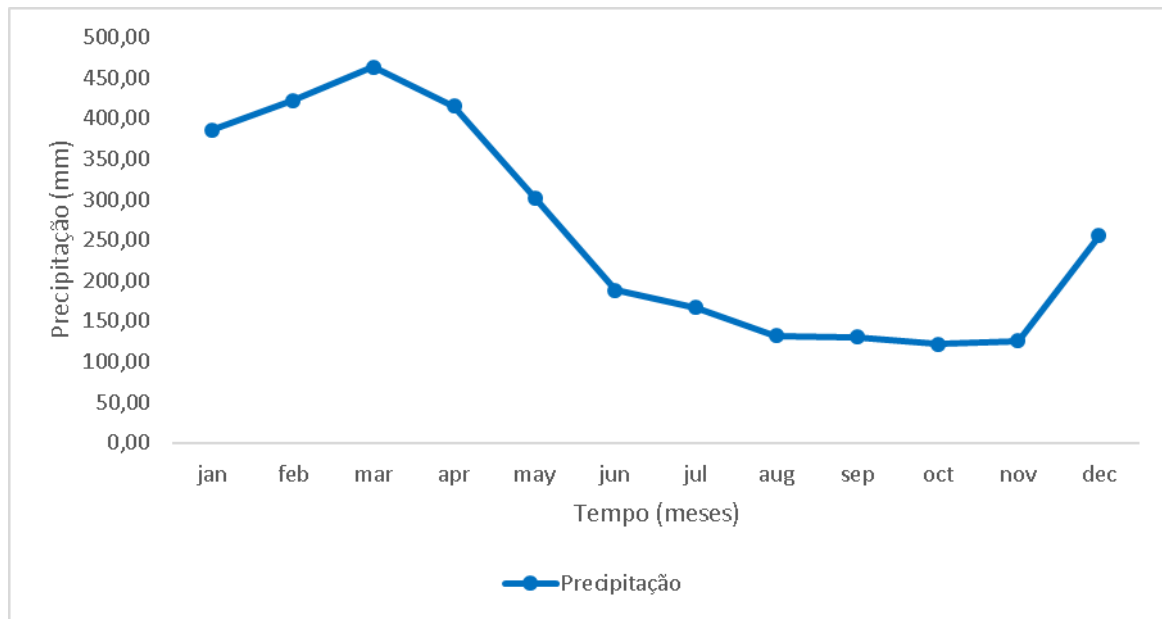
Fonte: Autor.

A figura 3 mostra-nos o comportamento da precipitação ao longo do ano no município de Mossoró-RN junto com o comportamento das 3 ondas calculadas mais a síntese das 3 onde esta segue o padrão da observada.

5.2 Experimento 2

A partir do experimento 1, foi obtido sucesso na reprodução dos resultados obtidos por Dantas Neto (2009) e de acordo com o objetivo traçado passou-se para a segunda fase que era de testar se a metodologia utilizada seria adequada para a região amazônica. O processo iniciou-se utilizando os dados diários de precipitação acumulada diária, obtidos no INMET correspondente a estação meteorológica de Belém-PA. Com esta informação, calculou-se as médias mensais e a anual de precipitação para a região e foi gerado um gráfico do comportamento anual dela ao decorrer deste período como mostrado na figura 4.

Figura 4- Gráfico de precipitação média mensal no município de Belém-PA no período de 1970 a 2016.



Fonte: Autor.

A figura 4 mostra o comportamento mensal do acumulado de chuva no município de Belém-PA, que teve a máxima observada de precipitação acumulada de 156,84mm para o mês de abril e o mínimo teve um valor de 1,91mm no mês de outubro, onde a região demonstra ter um período chuvoso iniciando em janeiro, tendo seu ápice entre os meses de março e abril e finalizando em junho, mês esse que inicia o período de estiagem com seu valor mínimo sendo observado entre os meses de setembro a outubro e tendo fim ao ciclo em janeiro. Utilizando as médias calculadas, buscou-se transformá-la num modelo com a série de Fourier. Para isso, foi calculado e montada a tabela dos resultados para os parâmetros contidos na tabela 3.

Tabela 3- Valores dos Parâmetros P_k , Q_k , a_k , A_k , Var_k e Var_{kac} resultantes das médias mensais e anual da cidade de Belém-PA no período de 1970-2016.

k	1	2	3	4	5	6
P_k	101,231	0,623	10,356	13,304	-2,127	6,324
Q_k	141,215	39,896	-11,744	-8,144	-6,027	
a_k	173,751	39,900	15,657	15,599	6,391	6,324
A_k	0,622	0,016	-0,723	-1,021	0,339	
Var_k	0,934	0,049	0,008	0,008	0,001	0,001
Var_{kac}	0,934	0,983	0,991	0,998	0,999	1,001

Fonte: Autor

Como feito anteriormente, a tabela 1 foi montada a partir das equações 2, 3, 4, 5 e 6 e ela nos mostra os parâmetros necessários para montar todas as harmônicas que melhor representam o comportamento da precipitação na localidade. A primeira harmônica, ou a onda anual de período T , tem a forma:

$$Y_t = 259,131 + 101,231 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + 141,215 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (11)$$

explicando 93,4% da variação total e com um erro relativo de 6,6%.

A segunda harmônica, ou a onda semestral, de período $T/2$ tem a forma:

$$Y_t = 58,841 - 0,623 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + 39,896 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (12)$$

explicando 4,9% da variação total e com um erro relativo de 95,1%.

A terceira harmônica, ou onda quadrimestral, de período $T/4$ tem a forma:

$$Y_t = 58,841 + 10,356 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) - 11,744 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (13)$$

explicando 0,8% da variação total e com um erro relativo de 99,2%.

Como essas equações podem ser somadas sem problemas, verifica-se uma onda que explica 99,1% da variação total da precipitação ao decorrer do ano e com um erro absoluto de 0,9%. A partir dessas equações montou-se a tabela 4 que mostra os valores observados junto com os valores obtidos a partir das equações 11, 12 e 13:

Tabela 4- Valores médios mensais observados e estimados junto com os valores das harmônicas anual, semestral, quadrimestral e Síntese da precipitação em Belém-PA.

Mês	Observado(mm)	Anual(mm)	Semestral(mm)	Quadrimestral(mm)	Síntese(mm)
Jan	385,68	360,362	259,754	269,487	371,341
Fev	422,49	417,41	293,99	247,39	440,53
Mar	463,64	432,04	293,37	248,78	455,93
Abr	415,58	400,35	258,51	270,88	411,47
Mai	302,04	330,81	224,27	269,49	306,30
Jun	188,47	242,07	224,89	247,39	196,09
Jul	166,76	157,90	259,75	248,78	148,17
Ago	131,76	100,85	293,99	270,88	147,46
Set	130,22	86,22	293,37	269,49	130,82
Out	121,72	117,92	258,51	247,39	105,55
Nov	125,41	187,45	224,27	248,78	142,23
Dez	255,79	276,19	224,89	270,88	253,70

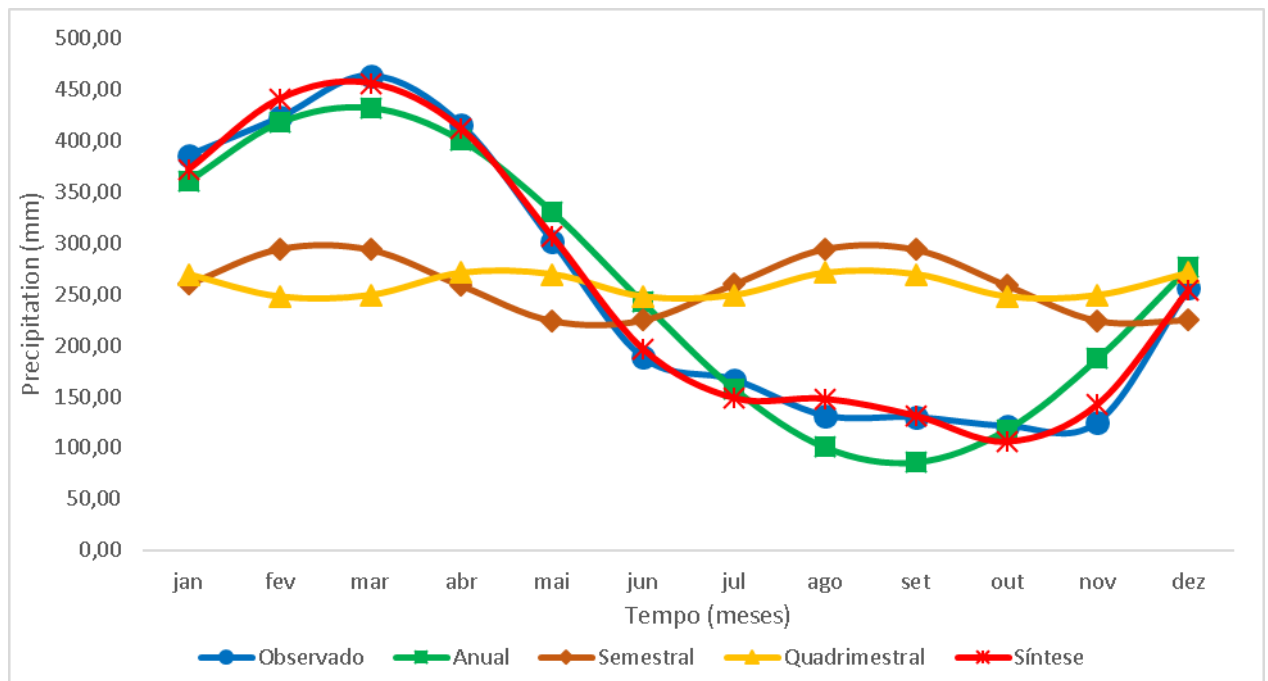
Fonte: Autor

Com os valores da tabela 3, foi gerada a equação 14 que gera resultados observados e gerados a partir da equação 1 que modela a variação calculada pelos parâmetros P_k e Q_k com a forma:

$$Y_t = 259,131 + 101,231 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + 141,215 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) - 0,623 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + 39,896 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + 10,356 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) - 11,744 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (14)$$

A equação 14 foi novamente programada no software Scilab e o resultado obtido foi nomeado como a curva síntese e esta foi plotada na figura 5 junto com os dados observados, anual, semestral e quadrimestral:

Figura 5- Gráfico da variação anual da chuva média mensal em Belém-PA e as harmônicas anual, semestral, quadrimestral e síntese.

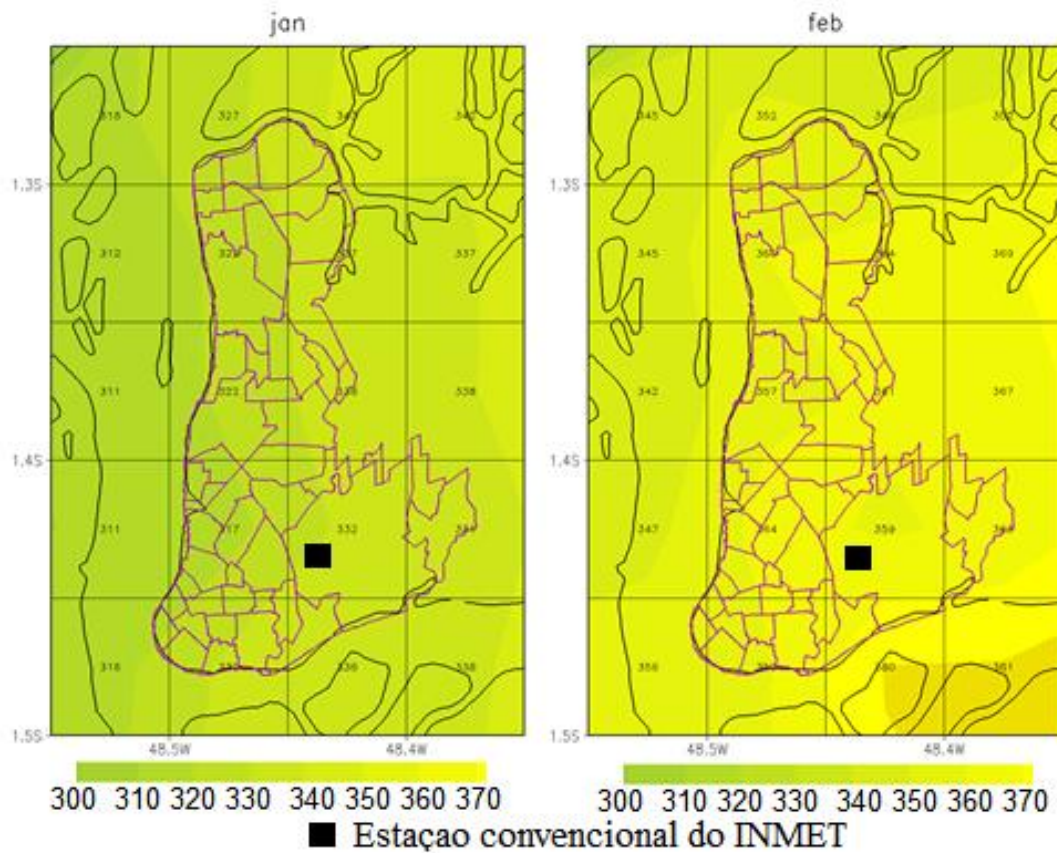


Fonte: Autor.

Com isso obtivemos o resultado esperado onde os dados discretos de precipitação foram transformados em uma equação que pode ser utilizada para previsão para os próximos anos.

Para a comparação com uma ferramenta nova e a atualizada nos dias atuais, temos a interpolação dos dados CHIRPS para a criação de uma média climatológica através de estimativas em imagens de satélites, o resultado gerado está mostrado nas figuras a seguir onde temos a climatologia gerada para um recorte do globo na latitude 1,25S à 1,50S e longitude 48,35W à 45,55W, recorte esse que enquadra toda a região da cidade de Belém-PA .

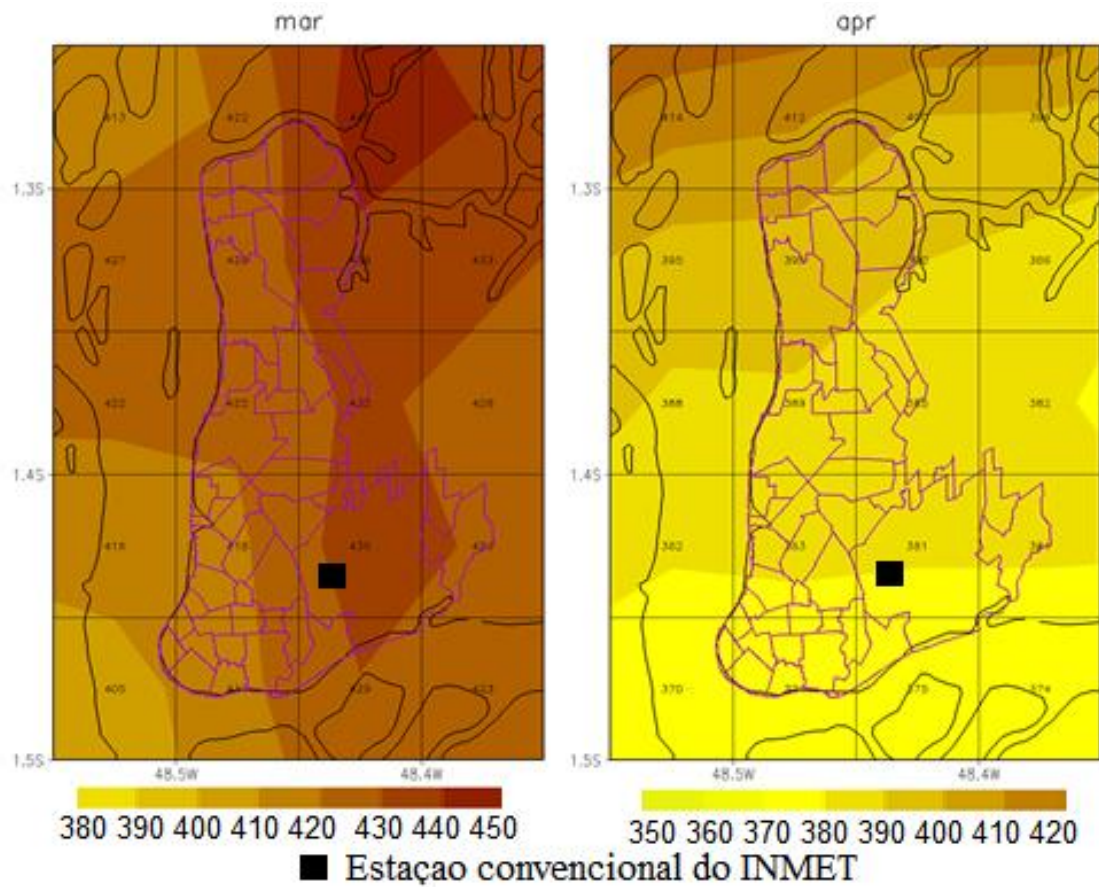
Figura 6- Normal Climatológica de 1987 a 2016 da cidade de Belém gerada no OpenGrADS a partir dos dados CHIRPS para os meses de janeiro e fevereiro.



Fonte: Autor.

Na figura 6 observamos a estação do INMET localizada em um círculo vermelho e no ponto de grade onde ele está localizado a climatologia de Belém gerada para os meses de janeiro e fevereiro onde no primeiro temos um valor de 332mm de precipitação acumulada para o ponto de grade mencionado e, para o segundo mês observamos um acumulado de precipitação estimado em 359mm naquele ponto de grade.

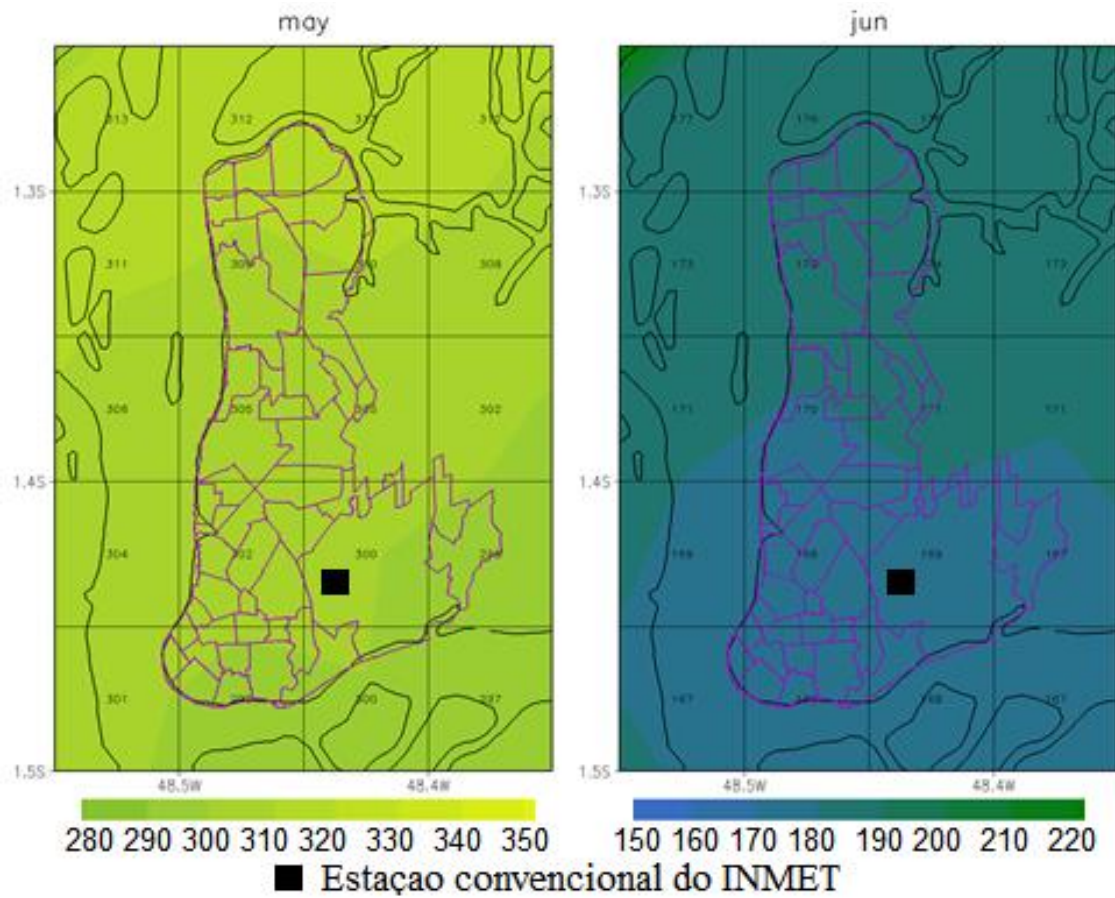
Figura 7- Normal Climatológica de 1987 a 2016 da cidade de Belém gerada no OpenGrADS a partir dos dados CHIRPS para os meses de março e abril.



Fonte: Autor.

Na figura 7 observamos a estação do INMET localizada em um círculo vermelho e no ponto de grade onde ele está localizado a climatologia de Belém gerada para os meses de março e abril onde no lado esquerdo temos um valor de 435mm de precipitação acumulada, este sendo o maior da série tendo em vista que é o mês com o maior volume de precipitação da região então está representando corretamente o real e, para o abril observamos um acumulado de precipitação estimado em 381mm naquele ponto de grade.

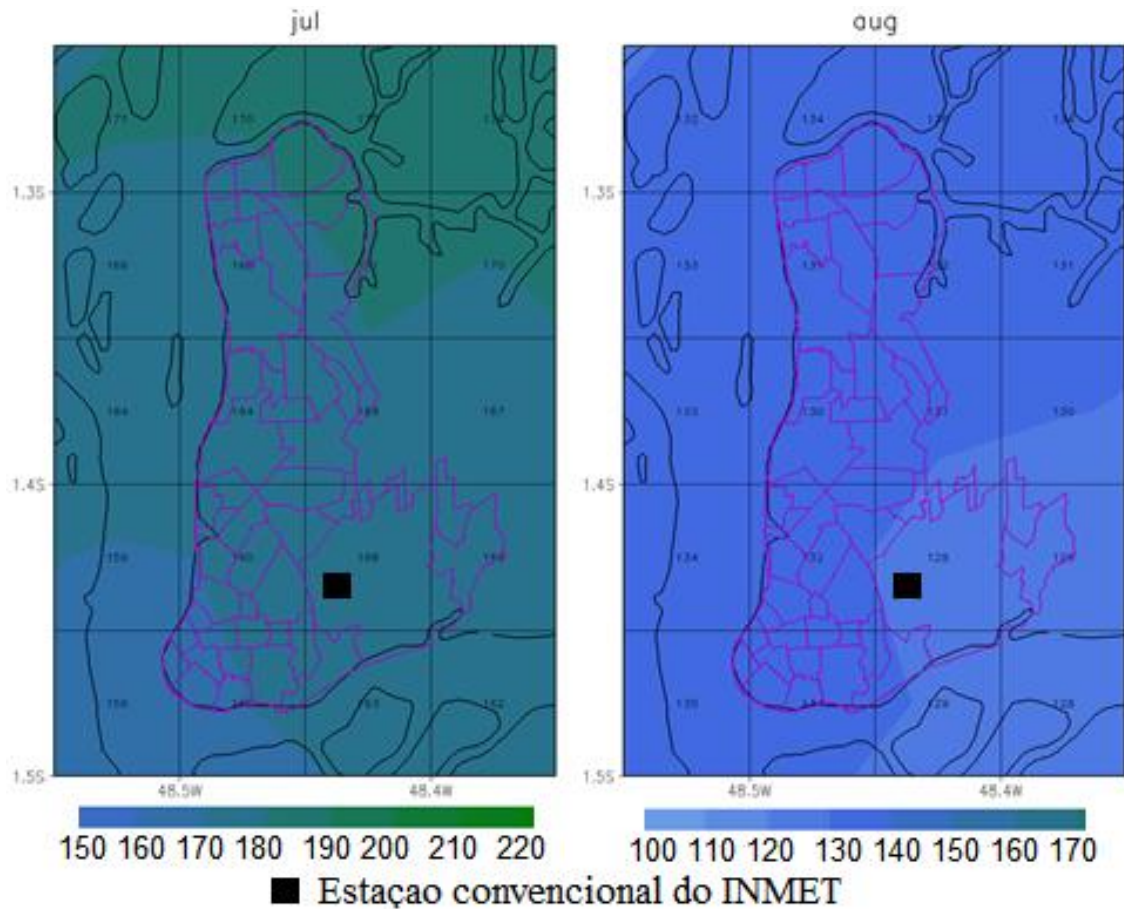
Figura 8- Normal Climatológica de 1987 a 2016 da cidade de Belém gerada no OpenGrADS a partir dos dados CHIRPS para os meses maio e junho.



Fonte: Autor.

Na figura 8 observamos a estação do INMET localizada em um círculo vermelho e no ponto de grade onde ele está localizado a climatologia de Belém gerada para os meses de maio e junho onde em maio temos um valor de 300mm de precipitação acumulada para o ponto de grade mencionado e, para junho é observado um acumulado de precipitação estimado em 169mm naquele ponto de grade.

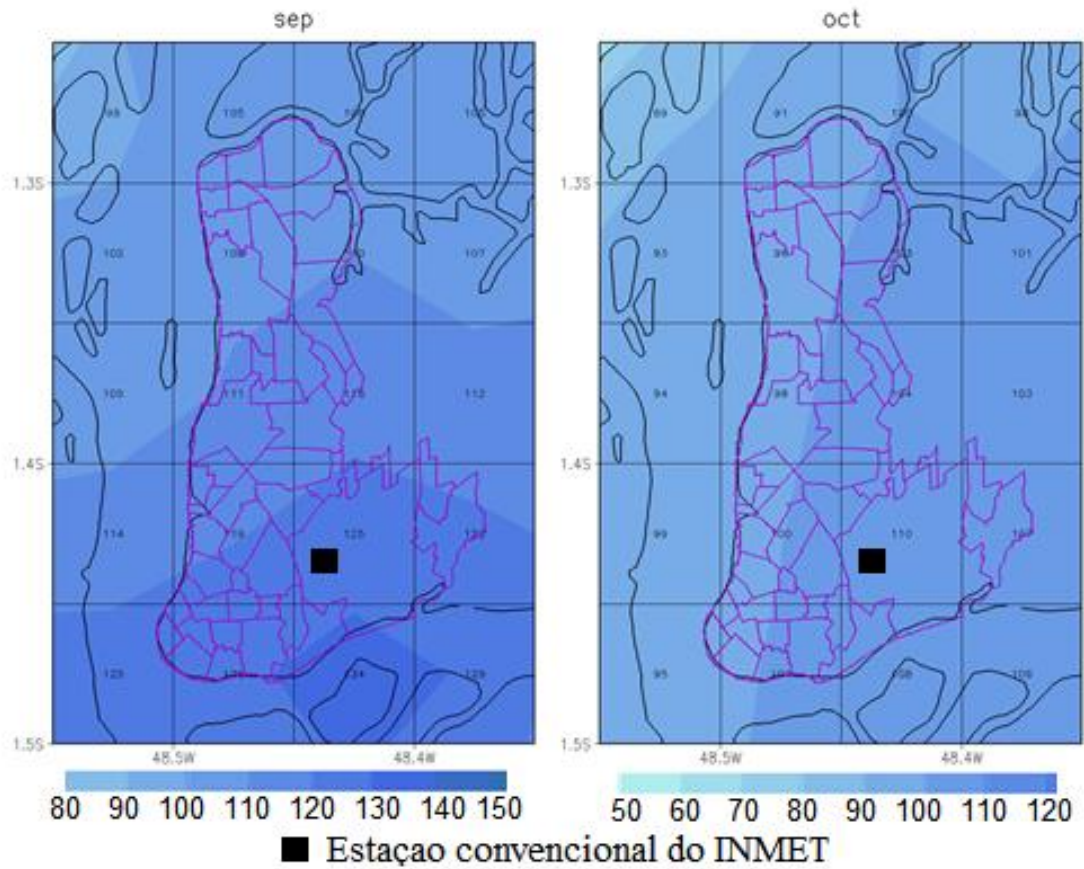
Figura 9- Normal Climatológica de 1987 a 2016 da cidade de Belém gerada no OpenGrADS a partir dos dados CHIRPS para os meses de julho e agosto.



Fonte: Autor.

Na figura 9 observamos a estação do INMET localizada em um círculo vermelho e no ponto de grade onde ele está localizado a climatologia de Belém gerada para os meses de julho e agosto onde no primeiro temos um valor de 166mm de precipitação acumulada para o ponto de grade mencionado e, para agosto é observado um acumulado de precipitação estimado em 128mm naquele ponto de grade.

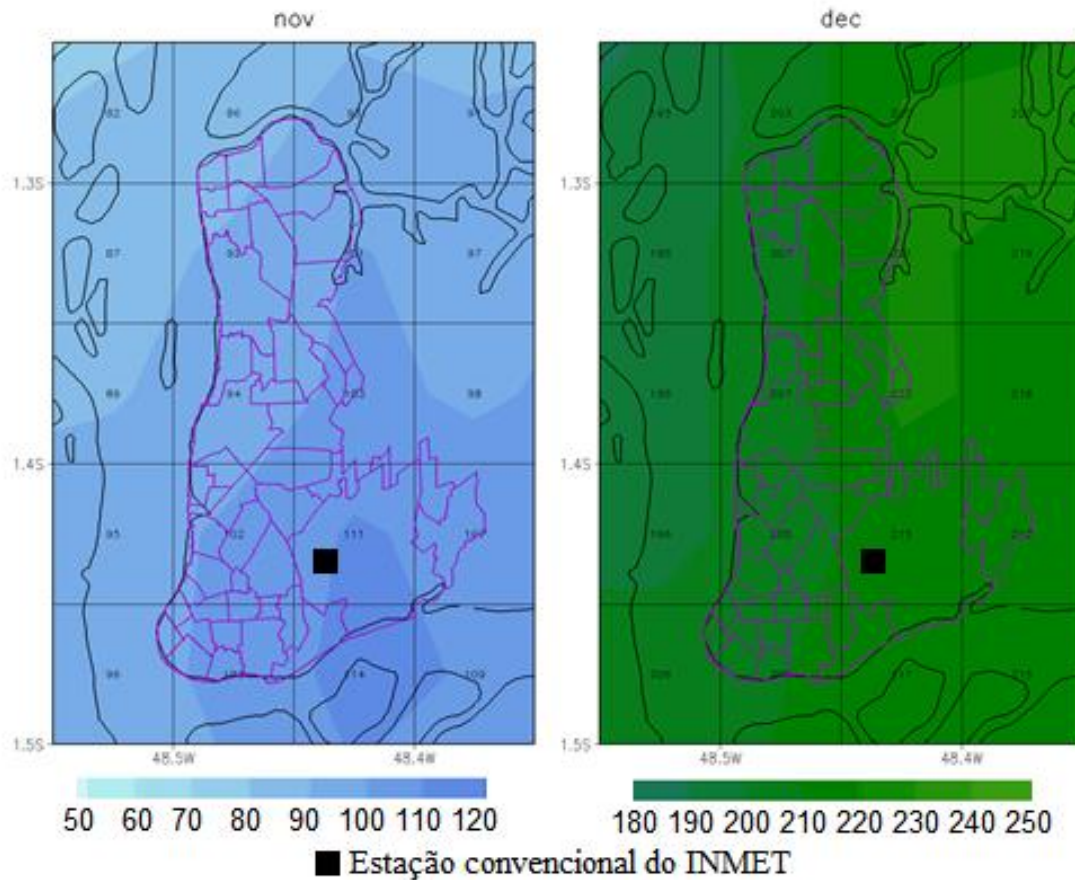
Figura 10- Normal Climatológica de 1987 a 2016 da cidade de Belém gerada no OpenGrADS a partir dos dados CHIRPS para os meses de setembro e outubro.



Fonte: Autor.

Na figura 10 observamos a estação do INMET localizada em um círculo vermelho e no ponto de grade onde ele está localizado a climatologia de Belém gerada para os meses de setembro e outubro onde no primeiro temos um valor de 125mm de precipitação acumulada para o ponto de grade mencionado e, para o segundo mês observamos um acumulado de precipitação estimado em 110mm naquele ponto de grade.

Figura 11- Normal Climatológica de 1987 a 2016 da cidade de Belém gerada no OpenGrADS a partir dos dados CHIRPS para os meses de novembro e dezembro.

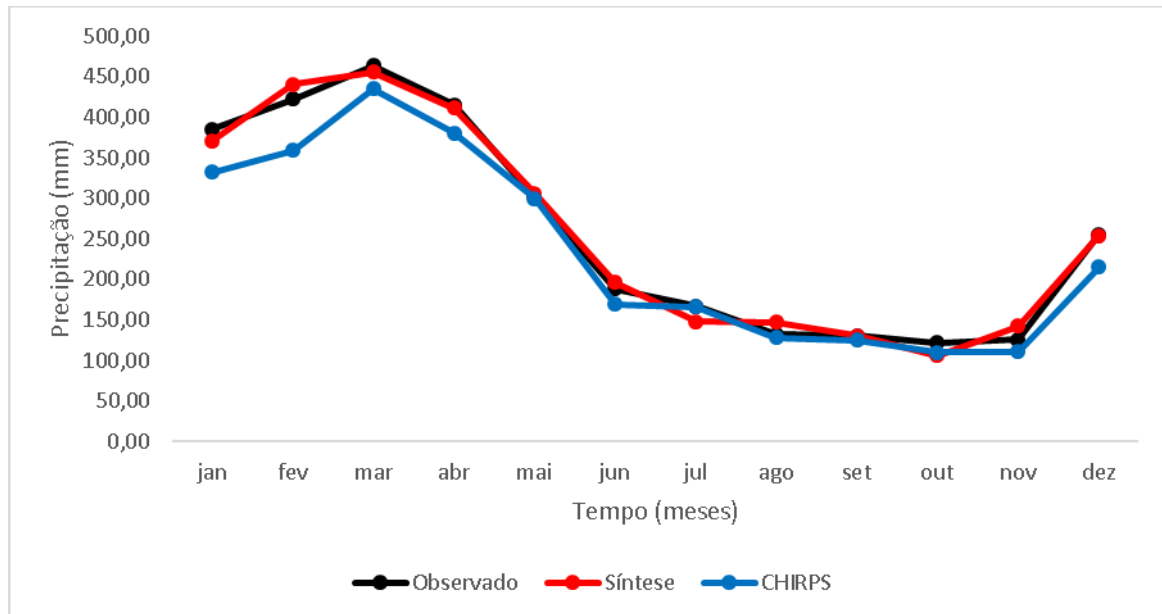


Fonte: Autor.

Na figura 11 observamos a estação do INMET localizada em um círculo vermelho e no ponto de grade onde ele está localizado a climatologia de Belém gerada para os meses de janeiro e fevereiro onde no primeiro temos um valor de 111mm de precipitação acumulada para o ponto de grade mencionado e, para o segundo mês observamos um acumulado de precipitação estimado em 215mm naquele ponto de grade.

A partir dos dados das imagens 6, 7, 8, 9, 10 e 11 foi gerado o gráfico da normal climatológica e este foi comparado aos resultados já mostrados anteriormente, para o valor observado da precipitação acumulada na estação do INMET na cidade de Belém, e o valor previsto pela série de Fourier para o ano de 2017 para a mesma cidade. Pode-se ver o resultado na figura 12:

Figura 12- Gráfico comparativo entre o valor observado de precipitação para a cidade de Belém-PA para o ano de 2017, previsão feita pela série de Fourier e Climatologia gerada através do CHIRPS.



Fonte: Autor.

A figura 12 mostra o comportamento ao longo do ano do acumulado de precipitação na cidade de Belém-PA para as 3 variáveis trabalhadas: o dado observado da estação do INMET, a harmônica resultante da série de Fourier e a normal climatológica estimada pelo CHIRPS. Observa-se a partir dela que as 3 tem comportamento semelhante, sendo a Síntese a curva que mais se aproxima do comportamento do dado observado, já a curva CHIRPS mostra uma subestimação do valor observado, principalmente nos primeiros meses do ano, este sendo o período chuvoso da região com isso sendo menos recomendado ser trabalhado do que a Síntese.

6 CONCLUSÃO

Esta pesquisa visou a reprodução da matemática utilizada no trabalho realizado por Dantas Neto (2009) onde ele utiliza os dados da cidade de Mossoró-RN para modelar o comportamento da precipitação daquela região e obtém sucesso tendo em vista que o modelo composto pela síntese das harmônicas explica 99,8% da variação da precipitação.

Quando aplicada para Belém-PA o resultado obtido foi satisfatório onde o estimado de precipitação pluviométrica média, no decorrer do período estudado, pela soma das harmônicas anual, semestral e quadrimestral que gerou a síntese teve uma representatividade de 99,1% de precisão. Com isso podemos modelar o comportamento das chuvas para os próximos anos com o intuito de prever o comportamento da mesma e aferir os resultados para a população assim como para os agricultores e outros dependentes direto das condições climáticas na região.

Comparando o resultado obtido através da modelagem por série de Fourier dos dados observados com a média climatológica gerada pelo banco de dados CHIRPS confirma-se que os valores representados pela primeira técnica são mais representativos e com isso mais precisos para utilização do que o resultado obtido pelo segundo método.

Como o estudo é de médias, se faz necessário com o passar dos anos o cálculo de novas médias para os acumulados de precipitação com o objetivo de adequar a curva gerada pelo modelo com os valores observados no decorrer do tempo.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, F N, de, ARRUDA, H. V. de, PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 1996. 161p.
- BASTOS, T. X. *et al.* **Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos**. Belém: Embrapa, 2002.
- COELHO, Micheline de Sousa; GAN, Manoel A.; CONFORTE, Jorge C. Estudo da variabilidade da posição e da nebulosidade associada à ZCIT do atlântico, durante a estação chuvosa de 1998 e 1999 no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 23-34, 2004.
- CORREIA, F. W. S. *et al.* Balanço de umidade na Amazônia e suas sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 59, n. 3, p. 39-43, set. 2007.
- COSTA, J. *et al.* Validação dos dados de precipitação pelo Chirps para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.24, p. 228-243, jan/jun. 2019.
- DANTAS NETO, Francisco S.; BARRA, Tarcísio. Análise harmônica aplicada a dados mensais de chuva para o município de Mossoró-RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília, DF. **Anais** [1980-2006] Brasília, DF: SBMET, 1998. p 04.
- FUNK, C. *et al.* **The climate hazards infrared precipitation with stations**—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci. Data*. 2:150066 doi: 10.1038/sdata.2015.66 (2015).
- GOMEZ, C. *et al.* **Engineering and Scientific Computing: with Scilab**. França: Springer science + business media, 1999.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **INMET**, 2019. Dados e previsões meteorológicas. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=sobre_inmet. Acesso em: 05 nov. 2019.
- ISSA N. M. K. I. **Word 2013**. São Paulo: Senac, 2018.
- MELO, A. M. Q. *et al.* Digitalização de pluviogramas para fins de determinação do fator energético da chuva (r) para a cidade de Belém. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 11., 2014, João Pessoa. Disponível em: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=170&SUMARIO=4805&ST=digitalizacao_de_pluviogramas_para_fins_de_determinacao_do_fator_energetico_da_chuva_r_para_a_cidade_de_belem_pa. Acesso em: 06 de dez. 2019
- MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. - Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.: Il
- NOBRE, Paulo *et al.* Modulações da ZCAS pelas temperaturas da superfície do mar no Atlântico sudoeste. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., 2002, Foz de Iguaçu, PR. **Anais** [1980-2006] Brasília, DF: SBMET, 1998. p. 3520-3527.
- OLIVEIRA, Fabíola de. **INMET: 100 anos de meteorologia no Brasil**. Brasília, DF: INMET, 2009.

OLIVEIRA, Gabrielle Bezerra; ALCÂNTARA, Clênia Rodrigues; DE SOUZA, Enio Pereira. Caracterização de perfis de vento no ambiente de formação das linhas de instabilidade amazônicas. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 1, p. 393-403, 2016.

PEGADO, Rosielle *et. al.* (2014). Risco de Cheia e Vulnerabilidade: Uma abordagem às Inundações Urbanas de Belém/Pará/ no Brasil. **Revista Territorium**, Belém, v. 21, p. 71-76, mai. 2014.

PINTO, Mário Paulo. **Microsoft Excel 2010**. Famalicão: Centro Atlântico, 2011.

PROJECT OPEN GRID ANALYSIS AND DISPLAY SYSTEM (GrADS). **OpenGrADS**, 2020. Ferramenta de desktop interativa. Disponível em: <http://opengrads.org/>. Acesso em: 05 dez. 2019.

TSAI, P. and B.E. DOTY, 1998: **A prototype Java interface for the grid analysis and display system (GrADS)**. *Fourteenth International Conference on Interactive Information and Processing Systems*, Phoenix, AZ 11-16 January 1998.

TUBELIS, A. e NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva - fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980. 374 p.

TUBELIS, A. e NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva - fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980. 374 p.

APÊNDICE A

Segue a seguir o script feito no aplicativo OpenGrADS para a modulação da média climatológica através de imagens de satélites no canal infravermelho, utilizando o banco de dados do CHIRPS.

Os dados foram gerados juntos ao Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza que deu todo o suporte e instruções necessários além de ceder a sua máquina para o desenvolvimento do script apresentado na figura 13.

Figura 13- Script no OpenGrADS para a plotagem do mês de novembro da média mensal da precipitação em Belém.

```
'reinit'set display color white';

'c'mes =nov; diaf=30tt=1ano=1987; while(ano<=2016);

sdfopen /Volumes/SAMSUNG/DADOS/chirps05/chirps-v2.0.'ano'.days_p05.nc"set lat -1.5 -1.25';

'set lon -48.55 -48.35'm'tt' = sum(precip.'tt', time=01'mes'ano', time='diaf'mes'ano')'tt=tt+1ano=ano+1;

endwhile'c'mes' =
(m1+m2+m3+m4+m5+m6+m7+m8+m9+m10+m11+m12+m13+m14+m15+m16+m17+m18+m19+m20+m21+m22+m23+m24+m25+m26+m27+m28+m
29+m30)/30"set mpdset amsulrp';

'set map 1 1 6"set grid off'; 'set grads off"set xlint 0.1';

'set ylint 0.1"set parea 0.5 5.5 1 8"set gxout shaded"/Users/albert/gs/gscript/color 50 450 10 -kind white-(0)->paleturquoise->royalblue->green->yellowgreen-
>yellow->maroon"d c'mes"x1=-48.437;

y1=-1.435; 'q ll2xy 'x1' 'y1"; pp=sublin(result,1)'set line 2 1 6'; 'draw mark 2 'pp' 0.2"set gxout grid';

'set gridln 1'; 'set ccolor 1'; 'd c'mes"set line 9 1 6'; 'set shpopts -1';

'draw shp /Users/everaldo/dat-grads/belem/Bel_Bairros.shp"draw title \\mes"*-----mes =dec;

diaf=31tt=1ano=1987; while(ano<=2016)'sdfopen /Volumes/SAMSUNG/DADOS/chirps05/chirps-v2.0.'ano'.days_p05.nc"set lat -1.5 -1.25';

'set lon -48.55 -48.35'm'tt' = sum(precip.'tt', time=01'mes'ano', time='diaf'mes'ano')'tt=tt+1ano=ano+1;

endwhile'c'mes' =
(m1+m2+m3+m4+m5+m6+m7+m8+m9+m10+m11+m12+m13+m14+m15+m16+m17+m18+m19+m20+m21+m22+m23+m24+m25+m26+m27+m28+m
29+m30)/30'

'set parea 5.8 10.8 1 8"set gxout shaded"/Users/albert/gs/gscript/color 50 450 10 -kind white-(0)->paleturquoise->royalblue->green->yellowgreen->yellow-
>maroon"d c'mes"x1=-48.437;

y1=-1.435; 'q ll2xy 'x1' 'y1"; pp=sublin(result,1)'set line 2 1 6'; 'draw mark 2 'pp' 0.2"set gxout grid';

'set gridln 1'; 'set ccolor 1'; 'd c'mes"set line 9 1 6'; 'set shpopts -1';

'draw shp /Users/everaldo/dat-grads/belem/Bel_Bairros.shp"draw title \\mes"*-----/Users/everaldo/gs/cbar2 0.08 10.92 0.3 0.5 -fw 0.06 -fh
0.12 -ft 6"printim clim 'mes'.png x1600 y1200'
```

Fonte: Autor.